语音记忆和中央执行功能在不同年级儿童解码和语言理解中的作用*

赵鑫 [1,2] 李红利 [2] 金戈 [3] 李世峰 [1,2] 周爱保 [1,2] 梁文佳 [2] 郭红霞 [2] 蔡亚亚 [2]

（[1] 甘肃省行为与心理健康重点实验室，西北师范大学，兰州 730070）（[2] 西北师范大学心理学院，兰州 730070）（[3] 兰州城市学院教育学院，兰州 730070）

摘要 选取256名三~六年级儿童，采用相关分析、结构方程模型等方法考察了语音记忆和中央执行功能在不同年级儿童的解码和语言理解中的作用。结果显示，在低年级阶段，语音记忆和刷新对解码存在显著预测作用，转换和刷新对语言理解存在显著预测作用；在高年级阶段，只有刷新对解码保持着稳定的预测作用。这表明，语音记忆和中央执行功能对儿童的解码和语言理解存在不同的影响，并且这种影响会随着年级的增长发生变化。

关键词 语音记忆；中央执行功能；小学儿童；解码；语言理解

1 引言

阅读理解是人类最复杂、最重要的认知活动之一（Kendeou, McMaster, & Christ, 2016）。阅读理解过程依赖个体的认知资源，阅读的内容越复杂，对认知的要求也会越高（Christopher et al., 2012; Perfetti & Stafura, 2014）。研究表明，工作记忆对阅读能力的发展具有重要的影响，尤其是在充分理解阅读内容方面（Swanson, 2000）。工作记忆涉及到对输入的信息进行暂时存储和加工的能力，不仅能够对输入的信息进行暂时的存储，同时能够从长时记忆中提取相关的信息，这在复杂的认知活动中起到了重要的作用（Baddeley, 2003）。工作记忆是一个容量有限的记忆系统，主要由语音回路（phonological loop）、视觉-空间模板（visual-spatial sketchpad）和中央执行系统（central executive system）三个不同的子成分组成（Baddeley, 1992）。语音记忆被定义为一种记忆语音信息及其相关顺序的能力，是工作记忆的一部分，涉及到工作记忆中的语音回路（Fortier &

*收稿日期：2019-08-19

* 国家自然科学基金(31560283)资助。

赵鑫和李红利为共同第一作者

通讯作者：金戈, E-mail: jinge0702@163.com；周爱保, E-mail: zhouab@nwnu.edu.cn

Simard, 2017）。语音回路主要负责语音信息的编码、保持和操作，通过语音编码将语音信息保存在短时语音存储中，主要包括语音存储（phonological store）和发音复述过程（articulatory rehearsal process）两个子成分。语音存储涉及到对语言信息进行暂时存储（大约 2 秒）的能力；发音复述过程主要是通过内部言语对语音信息进行复述来阻止信息的衰减，使语音信息能够更好地被保存下来（Baddeley, Gathercole, & Papagno, 1998）。中央执行功能作为工作记忆的核心成分，主要负责协调语音回路和视觉-空间模板活动、资源分配和注意转换等任务（Baddeley, 2003）。

大量研究表明，语音记忆（phonological memory）和中央执行功能（central executive function）是影响阅读的两个重要因素（García-Madruga, Vila, Gómez-Veiga, Duque, & Elosúa, 2014; Ramus, Marshall, Rosen, & van der Lely, 2013; Sesma, Mahone, Levine, Eason, & Cutting, 2009）。语音记忆是言语信息进入阅读过程的首要通道，无论是口语信息的输入（直接通过语音编码进行），还是文本信息的输入（需要先由文字转化为语音和语义）都需要语音系统的参与，语音记忆对阅读理解至关重要（Layes, Lalonde, Mecheri, & Rebaï, 2015）。Layes，Lalonde，Mecheri 和 Rebaï（2015）考察了语音记忆和阅读相关技能对字词阅读和阅读理解的影响，结果表明，语音记忆能够预测儿童的字词阅读能力 。Jared，Ashby，Agauas 和 Levy（2016）对五年级儿童的语音记忆在词义激活中的作用进行了考察，结果也发现，语音记忆在早期阅读的获得中具有重要的作用。中央执行功能主要负责协调工作记忆中的其他成分，并且主管信息加工的注意控制和注意分配过程，这在儿童的阅读理解过程中起到至关重要的作用（Butterfuss & Kendeou, 2018; Potocki, Sanchez, Ecalle, & Magnan, 2017）。Potocki, Sanchez, Ecalle 和 Magnan（2017）考察了中央执行功能在儿童和青少年阅读理解中的作用，结果表明，中央执行功能对五年级儿童文本理解的推理能力具有显著预测作用。中央执行功能是一种复杂的认知结构，包括了抑制（inhibition）、刷新（updating）和转换（transform）三个独立的成分（Miyake et al., 2000）。研究表明，不同中央执行功能的成分在阅读过程中扮演着独特的角色（Kieffer, Vukovic, & Berry, 2013）。

如前所述，语音记忆和中央执行功能在阅读理解中起到重要的作用。但是，语音记忆和中央执行功能在阅读理解不同成分中起到的作用是否相同，目前还没有研究直接去探讨。阅读理解本身是一个复杂的过程，包括了字词解码、语言理解以及句法和语法分析等加工过程（Gough & Tunmer, 1986; Tunmer & Chapman, 2012）。根据 Gough 和 Tunmer（1986）提出的简单阅读观（The Simple View of Reading, 简称 SVR），解码（decoding，简称为 D）和语言理解（language comprehension，简称为 C）是阅读理解的两个核心成分。其中，解码主要涉及到对单个字词的识别能力，语言理解主要涉及到口语理解的能力（Gough & Tunmer, 1986）。目前，对工作记忆和阅读理解关系的研究，很少有研究把阅读理解中的解码和语言理解进行区分，不能明确语音记忆和中央执行功能在阅读的解码和语言理解中到底扮演着什么样的角色。因此，本研究主要考察语音记忆和中央执行功能在解码和语言理解中是否起到了不同的作用。

以往研究发现，语音记忆是影响字词识别能力的重要因素，尤其是对词义的激活

（Ramus et al., 2013）。语音记忆在建立长时记忆与词语学习的语音形式之间起到关键作用，尤其是对建立新词的语义表征至关重要（Gupta & Tisdale, 2009）。相关研究也证明，儿童在语音记忆测验中的分数能够更好地预测词汇知识学习的表现（Gathercole, Tiffany, Briscoe, & Thorn, 2005）。这些发现为语音记忆直接影响词汇习得的假说提供了有力的支持。另一项研究表明，作为工作记忆核心成分的中央执行功能在阅读连贯性的发展以及推理方面更重要一些（Arrington, Kulesz, Francis, Fletcher, & Barnes, 2014）。在对阅读困难儿童的研究中也发现，阅读理解困难儿童并不是在语音记忆和中央执行功能方面都存在缺陷（Swanson, Zheng, & Jerman, 2009）。特殊阅读困难儿童（在字词识别中不存在缺陷的儿童）在语音记忆方面并不存在缺陷（Catts, Adlof, Hogan, & Weismer, 2005; Ramus et al., 2013）。但是，有研究表明，特殊阅读困难儿童潜在地受到了工作记忆能力的限制（Montgomery, Magimairaj, & Finney, 2010）。此外，研究发现，阅读流畅但是不能理解的儿童可能在中央执行功能方面存在缺陷（Sesma, Mahone, Levine, Eason, & Cutting, 2009）。因此我们假设，语音记忆是解码的重要预测因素，中央执行功能是语言理解的重要预测因素。

研究发现，成人的阅读理解能够更大程度地依赖一般知识的运用，工作记忆对儿童阅读理解能力的影响更大一些（Carretti, Cornoldi, De, & Romanò, 2005）。此外，研究表明，阅读和工作记忆的关系随着年级的发展而变化，在早期阶段主要表现为工作记忆对阅读的影响，而后会逐渐表现为工作记忆与阅读相互作用的模式（Peng et al., 2017）。因此，本研究主要考察语音记忆和中央执行功能对儿童解码和语言理解的影响，并进一步探讨了这种影响模式在不同年级阶段的表现是否存在差异。阅读获得的一种普遍观点是，在儿童阅读发展的早期，语音记忆对词义的激活非常关键（Jared et al., 2016）。随着整个儿童早期阅读的学习，字词识别逐渐变得自动化，语音记忆在阅读中的作用会有所减小，工作记忆容量能够直接影响到阅读理解技能的发展（Seigneuric & Ehrlich, 2005）。随着儿童阅读经验的积攒，阅读的主要任务从解码转变为理解，背景知识、语法和词汇知识在长时记忆中积累，工作记忆则可能用于整合语言、知识经验以满足阅读理解的需要（Peng et al., 2017）。中央执行功能与更高水平的阅读理解紧密相连，包括对阅读信息的计划、组织和监测等方面（Cutting, Materek, Carolyn Cole, Levine, & Mahone, 2009）。而且研究表明，中央执行功能是小学阶段阅读成绩的一个纵向预测因子（Meixner, Warner, Lensing, Schiefele, & Elsner, 2018）。因此我们假设，随着年级水平的提高，语音记忆在解码中的作用会逐渐减弱，而作为工作记忆核心成分的中央执行功能在语言理解的发展中保持稳定的预测作用。

对于小学生阅读的发展，有研究者提出了“六个发展阶段”理论，即一、二年级为阅读活动的启蒙阶段，三、四年级为阅读活动的建立，五、六年级进入阅读活动的运用阶段（Dale & Chall, 1948）。小学生在经过了一、二年级阅读学习的启蒙阶段，到三年级之后能够理解词语意义并且能够掌握独立阅读活动的基本理解策略，对此阶段小学生阅读能力的考察更有助于了解儿童阅读中的解码和语言理解的实质。因此，本研究将通过一系列任务考察三~六年级儿童在解码、语言理解、语音记忆和中央执行功能方面的表现，通过对各任务关系的分析来验证本研究的假设。具体而言：首先，采用汉字认读测验、词语阅读测验和

假词拼读测验考察儿童的解码能力，通过听力理解测验考察儿童对输入的语言信息进行理解的能力。其次，采用数字广度任务和非词广度任务考察儿童语音记忆的表现；同时，采用 GO/NOGO 任务、Stroop 任务、数字转换和数字刷新任务对儿童的中央执行功能各子成分进行考察。最后，通过相关分析和结构方程模型等统计分析来验证本研究的假设。在 Baddeley（1992）的工作记忆理论、Gough 和 Tunmer（1986）的简单阅读观、Miyake 等人（2000）提出的中央执行功能子成分理论的基础上，结合本研究的研究假设和目的，我们想进一步探究不同中央执行功能成分在解码和语言理解中的作用。此外，在本研究中，中央执行功能的各任务指标反映了不同的认知能力，其中，干扰效应指标反映了个体的冲突抑制能力，NOGO 正确率指标反映了个体的反应抑制能力，刷新成绩和转换代价分别反映了个体的刷新能力和转换能力。因此，在控制了年龄以一般认知能力的影响后，我们构建了本研究的假设理论模型，如图 1 所示。

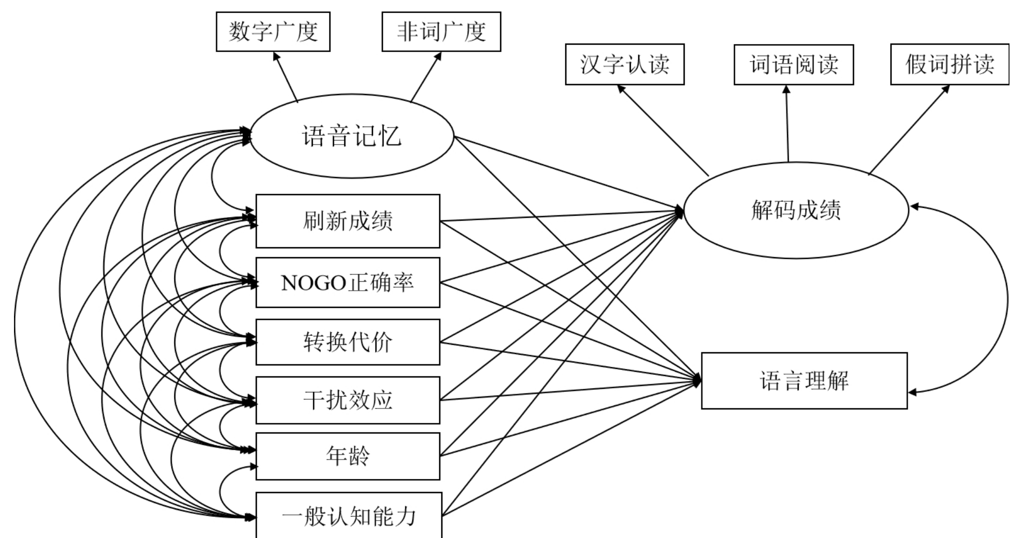


图 1 语音记忆和中央执行功能与解码和语言理解关系的假设理论模型
注：单箭头直线表示预测关系，双箭头曲线表示相关关系。

2 方法

2.1 被试

选取了某小学 256 名三~六年级的小学生参与研究，其中 1 名学生未完成所有的测验，在数据分析阶段对其数据进行剔除，有效人数为 255 人，其中，男生 131 人，女生 124 人，年龄范围是 8.00~12.83 岁，平均年龄为 10.06 岁（*SD*=1.28），各年级人数情况详见表 1。所有被试的听力、视力或矫正视力均正常，所有儿童参与实验均得到了家长和班主任老师的知情同意。实验结束后给予一定的报酬。

表 1 被试人口学变量

年级	总计	男	女	年龄（*M*±*SD*）
三年级	77	45	32	8.73±0.68
四年级	81	39	42	9.85±0.70

五年级	51	22	29	10.79±0.46
六年级	46	25	21	11.87±0.53
总计	255	131	124	10.06±1.28

2.2 测验工具

2.2.1 解码测验

（1） 汉语字词认读测验

字词认读测验是对小学生解码能力的考察（Zhang, 2017）。在本研究中，字词认读测验主要包括了汉字认读和词语认读两个独立测验。汉字认读测验由 150 个由易到难的汉字组成。测验要求儿童从测验文本的最顶部开始，从左至右、从上到下依次大声朗读每一个汉字，每读对一个汉字记为 1 分，正确阅读的个数作为被试在汉字认读测验中的成绩（Song et al., 2015）。该测验在本研究中的内部一致性信度系数为 0.973。

词语阅读测验是参照 Xue 等人（2013）汉字命名测验编制而成，保证测验编制的可靠性和有效性。测验选用的词语是依据小学生标准课程教材和预实验进行选取，所有词语均符合小学生字词要求的年级特征。测验材料的选择是从小学语文义务教育课程标准实验教科书（人教版）中选取了 300 个词语，从二~六年级各随机选取 12 名学生对这些词语进行命名，计算每个词语命名的正确率，选取词语的标准是每个词语命名的正确率高于 0.1 但是低于 0.95。这些词语的筛选是建立在小学生教材的选取和查频资料基础上，具有一定的科学性和可靠性。在正式测验时，将筛选出的词语按照预实验数据的正确率从高到低的顺序编制成词语认读测验，所有词语印在 A4 的纸上，每张上面包括 30 个词语，这些词语分布在 5×6 的表格内，测验时要求被试准确地朗读出每一个词语，没有时间限制，记录被试正确阅读的个数。该测验在本研究中的克伦巴赫 α 系数为 0.983，具有较好的内部一致性信度。

（2） 假词拼读测验

假词拼读测验是考察学生对形-音对应规则的掌握，也是考察解码能力的一个指标（Leong, Tse, Loh, & Hau, 2008）。和字母语言体系（如英语）的解码不同，拼音文字的语音原理是“形-音一致性原理”，而汉语的发音原理为“正字法-语音一致性原理”（Ho & Bryant, 1997）。字母语言体系的解码主要是将单词分解成语音片段，这些语音片段对应于字母或字母系列，每一个字母都有固定的发音标准，比如说：f 读作/f/。在汉语体系中，每个汉字就代表一个语素，每个语素包括两个字形成分：一个是提供语素发音的语音信息，一个是表示语素语义的基本成分，比如说“蜂、蝶、蚊”字，从语义成分来看，这三个字都表示昆虫范畴，但是读音完全不同。因为汉字的发音主要取决于提供发音的字形成分，即发音部首，比如说：“蚊”字的“文”部分表示发音结构（Ho & Bryant, 1997）。因此，基于汉语“正字法-语音一致性原理”的理论框架，本研究编制了假词拼读测验，旨在考察词语序列改变后，被试对正字法-语音一致性的掌握情况。在测验编制上也借鉴了非词广度任务中非词材料的选择（王晓丽, 陈国鹏, 马娟子, 孙秀庆, 孙志凤, 2013）。材料选

择主要结合了刘源等人（1990）编著的《现代汉语常用词词频词典》中使用频度比较高的字（比如说：本，使用频度是 6516 次）和小学语文义务教育课程标准实验教科书中要求掌握的生字表中的字。假词测验材料的编制也是基于预实验的结果，所有假词印在在 A4 的纸上，分布在 5×9 的表格内。在假词拼读测验中，要求被试正确地阅读每一组假词，包括每个字的音调，没有时间限制，记录被试正确阅读的个数。该测验为个别施测，整个测验大概需要 2 分钟。该测验在本研究中的克伦巴赫 α 系数为 0.926，具有较好的内部一致性信度。

2.2.2 语言理解测验

语言理解测验主要考察儿童对输入的句子和短文的理解能力，通常采用听力理解的形式进行测验（Tunmer & Chapman, 2012）。本研究的听力理解测验材料的选择参考 Song 等人（2015）用到的阅读理解测验材料，同时结合国家汉办孔子学院总部编制的新汉语水平等级考试（HSK）真题的考题形式。所有测验材料均由两名播音主持专业的研究生（一名男生，一名女生）录制成 MP3 格式使用。本研究的听力理解测验主要由对话理解和短文理解两大部分组成，综合考察儿童的语言理解能力。除了每个题目的选项是用文本形式呈现给被试外，所有内容均以语音形式呈现。在该测验中，对话理解主要包含 20 个题目，每个题目有 4 个选项供选择，要求被试在听完对话之后从提供的 4 个选项中选择出正确答案，每段对话读一遍；短文理解主要由 4 篇短文组成，短文的字数在 200 字~450 字之间，每篇短文后包括 5 个和阅读内容相关的问题，被试需要在听完短文后依次听每个问题，并且从四个备选答案中选择一个最恰当的答案。听力开始前会呈现 1 个题目作为例子使被试熟悉整个听力理解测验的程序和要求。该测验为集体施测，整个测验大约需要 20 分钟。该测验在本研究中的内部一致性信度系数为 0.777。

2.2.3 一般认知能力

对儿童一般认知能力的考察采用张厚粲和王晓平（1989）修订的中文版瑞文标准推理测验。该测验主要包括 60 个项目。每一个图形项目中都会有一块空缺，儿童需要从 6 个或者 8 个备选的图形选项中选择一个和原图形缺失部分最符合的选项。正确回答的项目总数作为儿童在瑞文标准测验中的总得分。该测验在本研究中的内部一致性信度系数为 0.862。

2.2.4 语音记忆测验

（1） 数字广度任务

数字广度任务是一种常用的评价语音记忆能力的一个指标（O'Brien, Segalowitz, Freed, & Collentine, 2007）。在数字广度任务中，以语音形式随机出现 1~9 的数字，每个数字呈现 1 秒，数字长度由 2 个逐渐增加到 11 个，被试需要在数字呈现后立即按顺序回忆数字。每个长度均会有三次尝试，正确回答两次及以上则长度增加一个，否则测验停止。以被试三次全部回答正确的最大广度作为被试在数字广度任务中的成绩，如果在下一个长度有一次正确则广度增加 1/3。该测验在本研究中的内部一致性信度系数为 0.789。

（2） 非词广度任务

非词广度也是评估语音记忆能力的任务之一（王晓丽, 陈国鹏, 马娟子, 孙秀庆, 孙志凤, 2013; O'Brien et al., 2007）。非词广度任务和数字广度任务相似，只是实验的材料变为无意义的非词。在汉语的研究中，非词主要是由两个汉字组合在一起，组成一个完全没有任何意义的词，比如说：句芽。在实验任务中，对于非词的选择主要是结合了刘源等人（1990）编著的《现代汉语常用词词频词典》中使用频度比较高的字，同时保证两个字的组合没有任何意义，并且在语音上也避免由于谐音而使非词有意义。测验程序和计分方式同数字广度任务。该测验在本研究中的内部一致性信度系数为 0.691。

2.2.5 中央执行功能测验

（1） GO/NOGO 任务

GO/NOGO 任务是对被试反应抑制能力的考察（Zhao, Chen, & Maes, 2018）。在这一任务中会给被试呈现 GO 刺激和 NOGO 刺激，需要被试对 GO 刺激进行按键反应，对 NOGO 刺激不做反应，GO 刺激和 NOGO 刺激呈现的比率各占 50%。实验总共包括 2 个练习 block（每个 block 包含 10 个 GO 试次和 10 个 NOGO 试次）和 4 个正式实验 block（每个 block 包含 50 个 GO 试次和 50 个 NOGO 试次），整个正式实验包括 400 个试次。每个 block 开始，首先会在屏幕中央呈现 1000ms 的注视点"＋"，之后随机呈现 600ms 的刺激，刺激后出现空屏，紧接着进入下一个试次。在正式实验的 4 个 block 中，其中两个 block 是出现字母 X 按"J"键（GO 试次），出现字母 Y 不反应（NOGO 试次），其余两个 block 与之相反，即出现字母 Y 按"J"键（GO 试次），出现字母 X 不反应（NOGO 试次），这两种情况下都包括一个练习让被试熟悉实验流程，练习的正确率达到 85%以上进入正式实验，整个实验时间大约需要 15 分钟。

（2） Stroop 任务

Stroop 任务是对被试冲突抑制能力的考察（Zhao et al., 2018），在该实验任务中，实验材料包括两个表示颜色的汉字（"红"和"绿"）和一个无意义字符串（"####"），被试需要对呈现的汉字或字符串的颜色进行按键反应，看见红色按"F"键，看见绿色按"J"键。该任务总共包括三种条件：一致条件（红色的"红"字和绿色的"绿"字）、不一致条件（红色的"绿"字和绿色的"红"字）和中性条件（红色的"####"和绿色的"####"）。每个 block 开始，会在屏幕中央呈现 500ms 的注视点"＋"，接下来是 1000ms 的空屏，空屏之后呈现 1500ms 的刺激，刺激后出现空屏，紧接着进入下一个试次。实验总共包括 1 个练习 block 和 3 个正式实验的 block，实验开始会有一个练习让被试熟悉实验流程，练习 block 总共包含 18 个试次，被试正确率达到 85%以上进入正式实验，正式实验总共 3 个 block，每个 block 包括一致、不一致和中性三种条件，每个条件下包括 12 个试次，每个 block 下总共 36 个试次，整个正式实验包括 108 个试次。该任务主要记录的数据指标包括不一致条件、一致条件、中性条件下的平均反应时以及干扰效应，其中干扰效应等于不一致条件下的平均反应时减去中性条件下的平均反应时。整个实验大约需要 15 分

钟，被试可以在每个 block 间进行休息。

（3） 数字转换任务

数字转换任务是对被试转换能力的考察（Zhao et al., 2018）。在该实验任务中，给被试呈现 1~9 的数字（不包括 5），当数字是红色时，判断数字大于 5 还是小于 5（任务 A），当数字是蓝色时，判断数字是奇数还是偶数（任务 B）。实验中包括了单一任务的执行（只执行任务 A 或任务 B）和混合任务的执行任务（同时执行任务 A 和任务 B）。任务 A 是依次呈现 1~9（除了 5）的红色数字，要求被试将数字和 5 比较大小，大于 5 时按"A"键，小于 5 的按"L"键；任务 B 是依次给被试呈现 1~9（除了 5）的蓝色数字，要求被试对数字的奇偶性进行判断，奇数数字按"A"键，偶数数字按"L"键。实验开始有两个单一任务的练习 block 让被试熟悉实验流程。被试的正确率达到 75%以上进入正式实验，正式实验包括 20 个 block，10 个单一任务 block 和 10 个混合任务 block，单一任务和混合任务随机呈现，每个单一任务的 block 包括 8 个试次，每个混合任务的 block 包括 17 个试次，整个正式实验过程总共包含 250 个试次。整个实验过程大约需要 20 分钟，被试可以在每个 block 间进行休息。主要的统计指标为单一试次、非转换试次和转换试次的平均反应时，以及转换代价和混合代价，转换代价等于转换试次的平均反应时减去非转换试次的平均反应时；混合代价等于混合任务中非转换试次的平均反应时减去单一任务条件下的平均反应时。

（4） 数字刷新任务

采用数字刷新任务对被试工作记忆中信息刷新能力进行考察（Zhao et al., 2018）。数字刷新任务包括简单任务和困难任务两种，简单任务中每个数字呈现的时间是 1750ms，困难任务中每个数字呈现的时间是 750ms。被试先完成简单任务，再完成困难任务。在整个任务中，首先给被试随机呈现 0~9 的一系列数字，数字的系列包括 5、7、9 和 11 四个长度。每个系列的数字都是一个一个呈现，要求被试不断的复述出现的数字并且按顺序记住最后出现的 3 个数字。例如，屏幕上会依次出现 6、8、5、4、7、2，被试需要不断记忆 6~68~685~854~547~472，被试需要记住最后三个数字，并把它们输入屏幕的黑色框内然后按空格键进入下一个系列。简单任务中总共包括 1 个练习 block 和两个正式实验的 block，练习的 block 包括 8 个试次，每种长度随机出现两次，正式实验的每个 block 包括 12 个试次，每个数字长度随机出现 3 次。在困难任务中，总共包括 2 个 block，每个 block 包括 12 个试次，每个数字长度随机出现 3 次。简单刷新任务和困难刷新任务的平均正确率作为刷新能力的指标。整个任务完成大约需要 20 分钟，被试可以在每个 block 间进行休息。

2.3 研究程序

以班级为单位对学生的阅读情况进行考察，对三~六年级共 256 名被试分别进行了汉字认读测验、词语阅读测验、假词拼读测验和语言理解测验等阅读能力测验，其中汉字认读测验、词语阅读测验和假词拼读测验为个别施测，语言理解测验为集体施测，并通过瑞文标准测验考察被试的一般认知能力，这些测验均在安静的环境下完成。接下来，被试需要

完成语音记忆和中央执行功能的所有任务，其中数字广度和非词广度任务主要是考察被试的语音记忆能力，为个别施测。采用 GO/NOGO 任务、Stroop 任务、数字刷新任务和数字转换任务分别考察被试的反应抑制、冲突抑制、刷新和转换能力，所有测验均在安静的微机室完成。本研究数据的收集均来自心理学专业的研究生，所有人员在测验前均接受了专业的培训，熟悉整个测验的规则和程序。

2.4 数据分析

采用 SPSS16.0 和 AMOS17.0 对数据进行描述统计、方差分析、相关分析和验证性因素分析等统计分析。

3 结果

3.1 各任务的描述统计以及差异检验结果

表 2 表示的是各年级被试解码、语言理解、语音记忆和中央执行功能各任务的平均值和标准差。对不同年级被试在各测验上的成绩进行差异检验。由表 2 结果可见，在所有年级的测验中，四个年级被试的一般认知能力之间存在显著差异，F（3, 251）=3.15，p=0.03<0.05，η^2_p=0.04。事后比较结果显示，五年级和六年级学生的成绩显著高于三年级和四年级学生的成绩（ps<0.05）。汉字认读测验、词语阅读测验、非词阅读测验以及听力理解测验的成绩在不同年级之间存在显著差异，高年级被试的成绩要显著高于低年级被试的成绩：汉字认读测验 F（3, 251）=73.69，p<0.001，η^2_p=0.47；词语阅读测验 F（3, 251）=90.34，p<0.001，η^2_p=0.52；假词拼读测验 F（3, 251）=50.39，p<0.001，η^2_p=0.38；听力理解测验 F（3, 251）=23.34，p<0.001，η^2_p=0.22。具体事后比较结果详见表 2。

在语音记忆测验中，四个年级之间均存在显著差异：数字广度 F（3, 251）=4.78，p=0.003<0.01，η^2_p=0.05，事后比较结果显示，六年级学生的数字广度显著高于五年级、四年级和三年级学生的数字广度（ps<0.05）；非词广度 F（3, 251）=7.49，p<0.001，η^2_p=0.08，事后比较结果显示，五年级和六年级学生的非词广度显著高于三年级和四年级学生的非词广度（ps<0.05）。在中央执行功能方面，干扰效应和转换代价在四个年级之间并不存在显著差异（ps>0.05）。在刷新成绩和 NOGO 正确率指标上均存在显著差异（Fs>2, ps<0.05），事后比较结果显示，无论是简单刷新成绩，还是困难刷新成绩，五年级和六年级学生的表现均显著高于三年级和四年级学生的表现（ps<0.01）；在 NOGO 正确率指标上，六年级学生的成绩显著高于三年级学生的成绩（p<0.05）。

表2 不同年级解码、语言理解、语音记忆和中央执行功能各任务的平均值和标准差以及方差分析的结果

测验	三年级（*n*＝77）		四年级（*n*＝81）		五年级（*n*＝51）		六年级（*n*＝46）		*F*（3, 251）	η^2_p	事后比较
	M	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*			
一般认知能力	36.32	8.02	37.02	6.94	38.33	7.17	40.35	7.68	3.15*	0.04	三年级＝四年级＜五年级＝六年级
解码											
汉字认读测验	78.88	24.27	88.75	18.63	114.43	12.60	121.76	9.54	73.69***	0.47	三年级＜四年级＜五年级＝六年级
词语阅读测验	74.92	29.72	94.52	23.63	123.08	13.20	135.28	9.60	90.34***	0.52	三年级＜四年级＜五年级＝六年级
非词阅读测验	23.47	8.43	25.43	6.98	33.96	5.52	36.24	4.15	50.39***	0.38	三年级＝四年级＜五年级＝六年级
语言理解											
听力理解测验	26.53	4.95	27.65	5.27	31.71	3.80	32.28	3.39	23.34***	0.22	三年级＝四年级＜五年级＝六年级
语音记忆											
数字广度	5.88	0.90	5.99	0.87	6.22	0.89	6.48	1.04	4.78**	0.05	三年级＝四年级＜五年级＜六年级
非词广度	2.77	0.69	2.72	0.67	3.02	0.59	3.23	0.62	7.49***	0.08	三年级＝四年级＜五年级＝六年级
Stroop											
干扰效应（ms）	36.09	68.43	24.75	59.03	40.41	79.34	31.36	55.39	0.70	0.01	*n.s.*
GO/NOGO											

NOGO 正确率	0.87	0.12	0.89	0.08	0.89	0.12	0.92	0.08	2.89*	0.03	三年级 ＜六年级
刷新											
简单刷新正确率	0.56	0.22	0.64	0.21	0.75	0.17	0.76	0.15	14.65***	0.15	三年级 ＝四年级 ＝五年级 ＜ 六年级
困难刷新正确率	0.58	0.25	0.65	0.23	0.73	0.22	0.76	0.17	7.79***	0.09	三年级 ＝四年级 ＜五年级 ＝ 六年级
转换											
转换代价（ms）	170.02	174.07	190.67	169.76	213.76	174.61	250.67	211.57	2.10	0.03	*n.s.*

注： *** $p < 0.001$， ** $p < 0.01$， * $p < 0.05$ ， *n.s.* 表示无显著差异，下同。

3.2 语音记忆和中央执行功能与解码和语言理解的相关分析

对所有被试年龄、一般认知能力、解码成绩、语言理解成绩、语音记忆、中央执行功能各任务的成绩进行相关分析，结果如表3 所示。结果显示，年龄与解码和语言理解均存在显著相关[r（255）=0.58, p<0.01； r（255）=0.35, p<0.01]。一般认知能力与解码和语言理解也存在显著相关[r（255）=0.31, p<0.01； r（255）=0.35, p<0.01]。在语音记忆方面，语音记忆与解码显著相关[r（255）=0.36, p<0.01]；语音记忆与语言理解也存在显著相关[r（255）=0.30, p<0.05]。在抑制测验方面，干扰效应与解码和语言理解成绩之间均未发现显著相关[r（255）=0.05, p=0.429>0.05； r（255）=0.03, p=0.590>0.05]。NOGO 正确率与解码之间显著相关[r（255）=0.15, p=0.018<0.05]；NOGO正确率与语言理解成绩之间也存在显著相关[r（255）=0.20, p<0.01]。刷新成绩与解码和语言理解之间均存在显著相关[r（255）=0.48, p<0.01； r（255）=0.47, p<0.01]。转换代价与解码之间发现显著相关[r（255）=0.18, p<0.01]；转换代价与语言理解也存在显著相关[r（255）=0.29, p<0.01]。

表 3 解码、语言理解、语音记忆和中央执行功能各任务之间的相关矩阵（ n=255 ）

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 年龄	1								
2 一般认知能力	0.12*	1							
3 解码成绩	0.58**	0.31**	1						
4 语言理解成绩	0.35**	0.35**	0.65**	1					
5 语音记忆	0.23**	0.19**	0.36**	0.30**	1				
6 干扰效应（ms）	-0.02	-0.11	0.05	0.03	0.07	1			
7 NOGO 正确率	0.16**	0.15*	0.15*	0.20**	0.14*	-0.03	1		
8 刷新成绩	0.29**	0.38**	0.48**	0.47**	0.37**	-0.02	0.39**	1	
9 转换代价（ms）	0.10	0.16*	0.18**	0.29**	0.11	0.03	0.23**	0.26**	1

注： $^{**}p$ < 0.01， $^{*}p$ < 0.05 ，下同。

3.3 语音记忆和中央执行功能与解码和语言理解之间的结构方程模型

依据本研究的假设模型对结果进行检验。同时，在对模型的检验中，我们将涉及到中央执行功能的各任务指标合并为一个潜变量建构了竞争模型，并与本研究的假设模型进行比较。所有模型均依据相应的修正指标（Modification Indices）对初始模型进行了修正，各模型的拟合指标详见表4。从结果来看，三年级~六年级阶段的各模型中，修正后的假设模型各拟合指标最佳（图2），模型与数据的拟合指标分别为：$\chi2$=18.404，*df*=24，$\chi2/df$=0.767，GFI=0.988，CFI=1.000，AGFI=0.962，RMSEA=0.000。这表明，修正后的假设模型更优。

表 4 语音加工和中央执行功能与解码和语言理解结构方程模型的拟合指标

年级阶段	模型	*χ2*	*df*	*χ2/df*	*GFI*	*CFI*	*AGFI*	*RMSEA*
三～六年级阶段	**Model 1：各中央执行功能任务指标合并为潜变量进入模型（竞争模型）**							
	初始模型	51.875	42	1.235	0.994	0.966	0.937	0.030
	修正模型	36.089	40	0.902	0.977	1.000	0.955	0.000
	Model 2：各中央执行功能任务指标作为独立变量进入模型（假设模型）							
	初始模型	26.886	25	1.075	0.983	0.999	0.947	0.017
	修正模型	**18.404**	**24**	**0.767**	**0.988**	**1.000**	**0.962**	**0.000**
三、四年级阶段	**Model 3：各中央执行功能任务指标合并为潜变量进入模型（竞争模型）**							
	初始模型	57.262	42	1.363	0.943	0.980	0.895	0.048
	修正模型	45.066	41	1.099	0.956	0.995	0.915	0.025
	Model 4：各中央执行功能任务指标作为独立变量进入模型（假设模型）							
	初始模型	35.953	25	1.438	0.964	0.986	0.889	0.053
	修正模型	**25.179**	**24**	**1.049**	**0.974**	**0.998**	**0.917**	**0.018**
五、六年级阶段	**Model 5：各中央执行功能任务指标合并为潜变量进入模型（竞争模型）**							
	初始模型	47.600	42	1.133	0.926	0.982	0.862	0.037
	修正模型	43.304	41	1.056	0.934	0.992	0.874	0.024
	Model 6：各中央执行功能任务指标作为独立变量进入模型（假设模型）							
	初始模型	**13.736**	**25**	**0.549**	**0.977**	**1.000**	**0.927**	**0.000**

图2表示的是语音记忆和中央执行功能与解码成绩和语言理解之间关系的修正后的模型。路径系数的分析结果显示，语音记忆和刷新成绩与解码成绩的路径系数均达到了显著性水平（γ=0.18，p=0.008<0.01；γ=0.25，p<0.001），这表明，语音记忆对解码成绩具有显著预测作用；刷新成绩对解码成绩也具有显著预测作用。刷新成绩和转换代价与语言理解的路径系数达到了显著性水平（γ=0.26，p<0.001；γ=0.16，p=0.003<0.01），这表明，刷新成绩和转换代价显著预测了语言理解的表现。此外，结果表明，年龄和一般认知能力

与解码成绩和语言理解之间的路径系数均达到了显著水平（$ps<0.01$）。

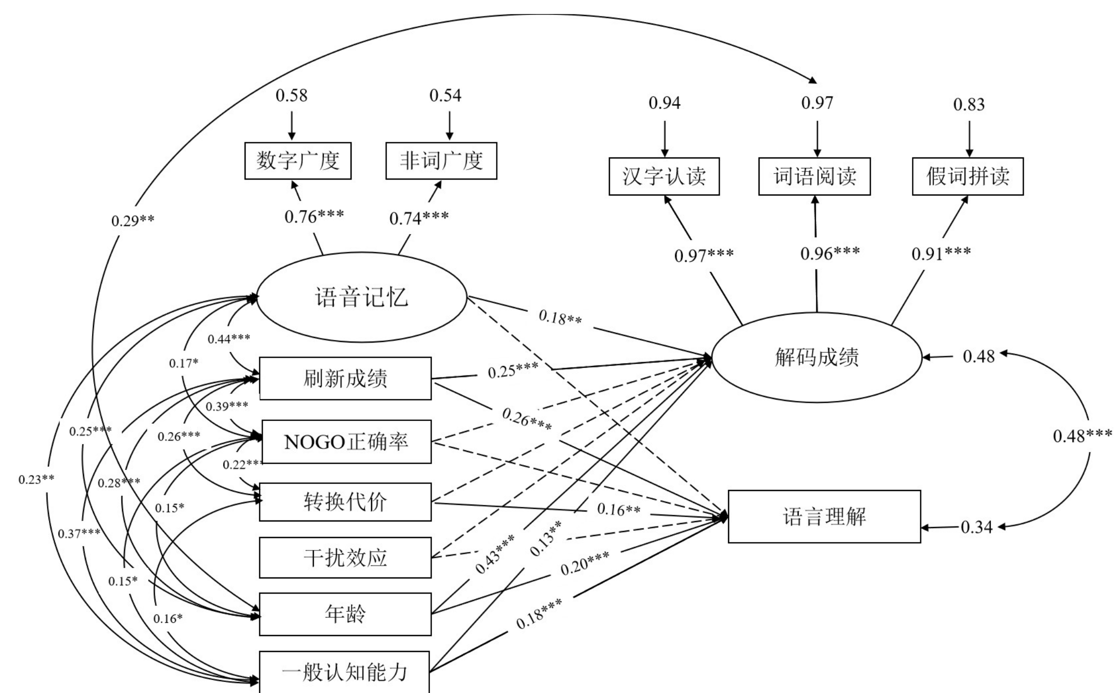


图2 三~六年级阶段语音记忆和中央执行功能与解码和语言理解关系的修正后的模型。注：所有路径系数为标准化系数，单箭头直线表示预测关系，双箭头曲线表示相关关系。实线表示显著的回归路径，虚线表示不显著的回归路径，图中只呈现了相关系数达到显著水平的路径。下同。

3.4 不同年级阶段儿童的语音记忆和中央执行功能与解码和语言理解的相关分析

为了进一步了解不同年级阶段被试的语音记忆和中央执行功能与解码和语言理解的关系，以三年级和四年级为一个阶段，以五年级和六年级为另一个阶段，对各任务中的成绩进行相关分析。结果如表 5 和表 6 所示。

表 5 表示的是三年级和四年级阶段各任务之间的皮尔逊相关分析的结果。结果显示，年龄和各任务指标之间均不存在显著相关（$ps>0.05$）。一般认知能力与解码成绩和语言理解成绩显著相关[r（158）=0.25, $p<0.01$; r（158）=0.29, $p<0.01$]。语音记忆与解码成绩和语言理解之间均存在显著相关[r（158）=0.25, $p<0.01$; r（158）=0.22, $p<0.01$]。在中央执行功能方面，刷新成绩与解码成绩和语言理解存在显著相关[r（158）=0.36, $p<0.01$; r（158）=0.41, $p<0.01$]。转换代价只与语言理解存在显著相关[r（158）=0.27, $p<0.01$]。其他指标与解码成绩和语言理解之间均未发现显著相关（$ps>0.05$）。

表6表示的是五年级和六年级阶段各任务之间的相关矩阵。结果显示，年龄只与解码成绩存在显著相关[r（97）=0.24, p=0.020<0.05]。一般认知能力与解码成绩和语言理解成绩存在显著相关[r（97）=0.35, $p<0.01$; r（97）=0.39, $p<0.01$]。语音记忆与解码之间存在显著相关[r（97）=0.30, $p<0.01$]；而语音记忆与语言理解之间未发现显著相关[r（97）=0.19, p=0.069>0.05]。在中央执行功能各任务中，干扰效应、NOGO正确率与解码成绩和语言理解之间的相关系数均未达到显著水平（$ps>0.05$）。刷新成绩与解码和语言理解之间存在显著相关[r（97）=0.41, $p<0.01$; r（97）=0.31, $p<0.01$]。转换代价只与语言理解存在显著相关

[r（97）=0.24, p=0.020<0.05]。

表5 三年级和四年级被试各任务之间的相关矩阵（n=158）

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 年龄	1								
2 一般认知能力	-0.07	1							
3 解码成绩	0.12	0.25**	1						
4 语言理解成绩	-0.02	0.29**	0.55**	1					
5 语音记忆	-0.03	0.21**	0.25**	0.22**	1				
6 干扰效应（ms）	-0.09	-0.09	0.02	-0.04	0.07	1			
7 NOGO 正确率	0.08	0.07	0.09	0.15	0.17*	0.09	1		
8 刷新成绩	0.06	0.33**	0.36**	0.41**	0.30**	-0.01	0.37**	1	
9 转换代价（ms）	-0.11	0.10	0.14	0.27**	0.16*	-0.08	0.25**	0.29**	1

表6 五年级和六年级被试各任务之间的相关矩阵（n=97）

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 年龄	1								
2 一般认知能力	0.12	1							
3 解码成绩	0.24*	0.35**	1						
4 语言理解成绩	0.03	0.39**	0.40**	1					
5 语音记忆	0.15	0.07	0.30**	0.19	1				
6 干扰效应（ms）	-0.08	-0.16	0.08	0.13	0.05	1			
7 NOGO 正确率	0.13	0.22*	0.07	0.19	0.03	-0.21*	1		
8 刷新成绩	0.04	0.37**	0.41**	0.31**	0.33**	-0.08	0.40**	1	
9 转换代价	0.15	0.2	0.07	0.24*	-0.05	0.1	0.1	0.12	1

（ms）	0	6	6

3.5 不同年级阶段儿童的语音记忆和中央执行功能与解码和语言理解的结构方程模型

为了进一步考察不同年级阶段语音记忆、中央执行功能对解码和语言理解的影响，依据本研究的假设模型对不同年级阶段被试的结果进行检验。

由表4可知，三、四年级阶段的各模型中，修正后的假设模型各拟合指标最佳（图3），模型与数据的拟合指标分别为：$\chi2=25.179$，$df=24$，$\chi2/df=1.049$，GFI=0.974，CFI=0.998，AGFI=0.917，RMSEA=0.018<0.06。这表明，修正后的假设模型更优。图3表示三年级和四年级阶段语音记忆和中央执行功能与解码成绩和语言理解关系修正后的模型。路径系数的分析结果显示，语音记忆和刷新成绩与解码成绩的路径系数达到了显著性水平（$\gamma=0.19$，$p=0.064<0.08$；$\gamma=0.25$，$p=0.004<0.01$），这表明，语音记忆和刷新成绩对解码成绩具有显著预测作用。刷新成绩和转换代价与语言理解的路径系数达到了显著性水平（$\gamma=0.28$，$p=0.001<0.01$；$\gamma=0.16$，$p=0.034<0.05$），这表明，刷新成绩和转换代价显著预测了语言理解的表现。此外，结果显示，一般认知能力与语言理解的路径系数显著（$\gamma=0.15$，$p=0.047<0.05$），表明一般认知能力显著预测了语言理解的表现。

由表4可知，五、六年级阶段的各模型中，假设模型的初始模型各拟合指标最佳（图4），模型与数据的拟合指标分别为：$\chi2=13.736$，$df=25$，$\chi2/df=0.549$，GFI=0.977，CFI=1.000，AGFI=0.927，RMSEA=0.000<0.06。在假设模型的检验过程中，没有出现相应的修正指标，这表明，初始模型具有良好的拟合度。图4表示五年级和六年级阶段语音记忆和中央执行功能与解码成绩和语言理解关系的初始模型。路径系数的分析结果显示，语音记忆与解码成绩和语言理解的路径系数均不显著（$ps>0.05$）。在中央执行功能方面，只有刷新成绩与解码成绩的路径系数显著（$\gamma=0.30$，$p<0.01$），其他路径系数均未达到显著性水平（$ps>0.05$）。这表明，只有刷新成绩对解码具有显著预测作用。此外，结果显示，年龄与解码成绩的路径系数显著（$\gamma=0.22$，$p<0.05$）；一般认知能力与解码成绩和语言理解的路径系数显著（$\gamma=0.26$，$p<0.01$；$\gamma=0.33$，$p<0.001$）这表明，一般认知能力对解码和语言理解具有显著预测作用。

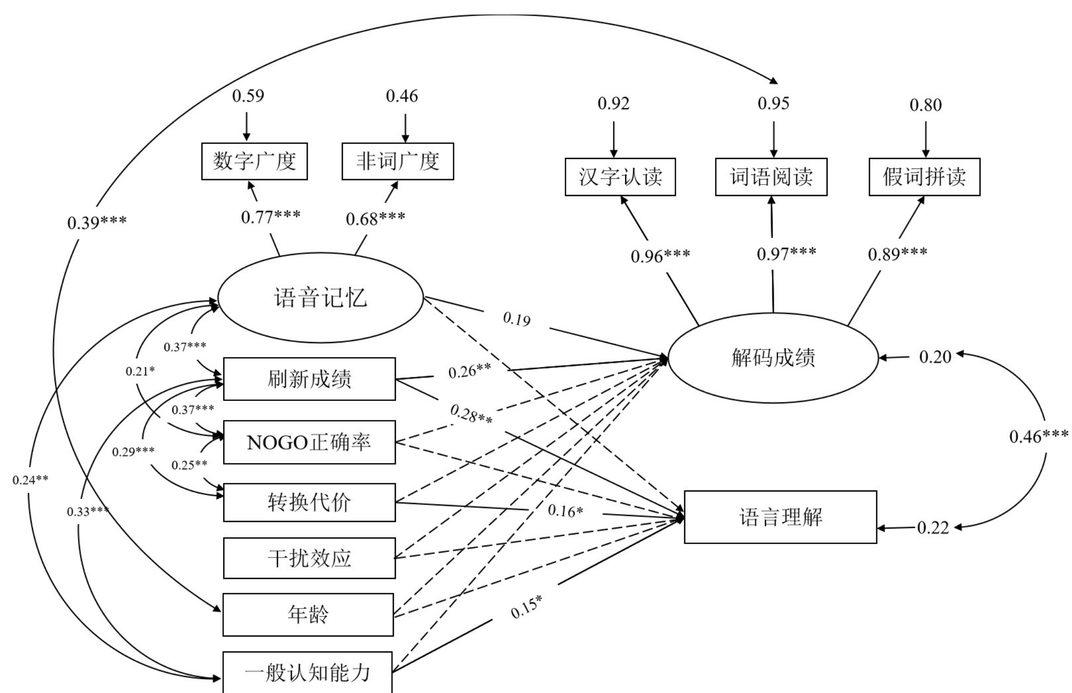


图3 三年级和四年级阶段语音记忆和中央执行功能与解码和语言理解关系的修正后的模型

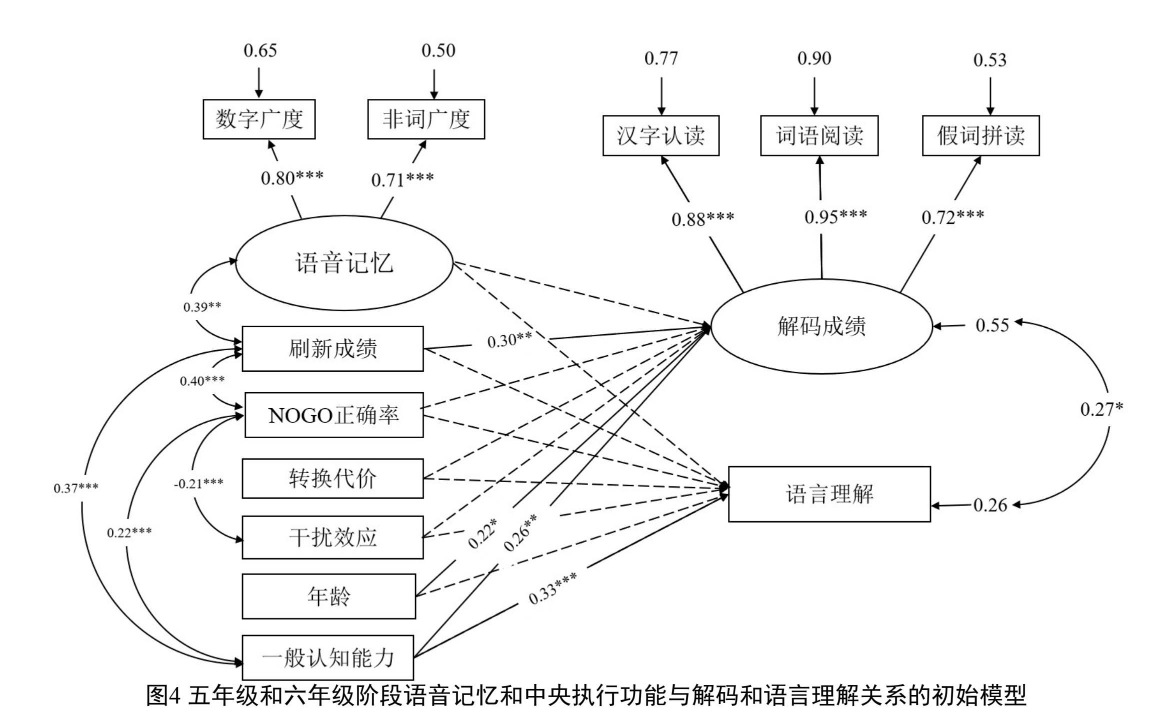


图4 五年级和六年级阶段语音记忆和中央执行功能与解码和语言理解关系的初始模型

4 讨论

4.1 语音记忆和中央执行功能对解码和语言理解的影响

本研究主要考察了语音记忆和中央执行功能对儿童解码和语言理解的影响，并探讨了这种影响模式在不同年级阶段的表现是否相同。结果发现，在控制了年龄和一般认知能力

后，语音记忆和刷新成绩对儿童的解码存在一定的预测作用，刷新成绩和转换成绩能够显著预测儿童语言理解的表现。

本研究证明，语音记忆对儿童的解码具有一定的预测作用，而对儿童的语言理解不存在预测作用。这一研究结果和 Oakhill, Cain 和 Bryant（2003）的研究一致，他们的研究发现，语音记忆可以很好地预测字词阅读能力。语音记忆在字词阅读过程中起到了重要的作用，主要涉及到帮助儿童建构字母—语素之间的联结（McDougall, Hulme, Ellis, & Monk, 1994）。语音记忆还涉及到能够从长时记忆中提取相关的语音信息，包括对语音信息暂时存储和加工的能力（Gupta & Tisdale, 2009）。因此，语音记忆可能会对阅读的解码过程产生一定的促进作用，这一作用更有助于单个字词的阅读。此外，字词信息通常存储在言语系统的激活网络中，这可能更有利于不依赖上下文内容的自动情景下的快速字词阅读的表现（Stuart, 2006）。

相比语音记忆，中央执行功能在儿童语言理解方面起到了更重要的作用。从认知负荷的角度出发，相比基本的解码过程，语言理解过程是一个不受阅读者控制的过程，需要大量工作记忆资源的参与（Peng et al., 2017）。语音记忆在语言理解过程中的作用就会有所减弱，而需要更多认知资源投入的中央执行功能在语言理解过程中可能会起到更重要的作用。相关研究也证明，相比阅读中基本的字词识别，工作记忆对更高水平的理解能力显得更重要一些（Savage, Lavers, & Pillay, 2007）。本研究还发现，中央执行功能的不同成分对解码和语言理解的影响存在一定的差异。导致这一结果的原因可能是，中央执行功能的不同成分在阅读理解过程中扮演着独特的角色（Kieffer et al., 2013）。这一解释也得到了相关研究的证实，Cutting 等人（2009）的研究发现，在评估阅读理解方面时，不同类型的中央执行功能之间存在一定的差异。相关研究也证实，并不是所有类型的阅读理解任务或阅读理解问题都会涉及到中央执行功能（Eason, Goldberg, Young, Geist, & Cutting, 2012）。

在抑制控制方面，本研究发现，抑制控制能力（冲突抑制和反应抑制）对解码和语言理解均没有产生影响。Borella，Carretti 和 Pelegrina（2010）对抑制能力在不同阅读理解方面的作用进行了考察，结果发现，抑制优势反应不能解释阅读理解方面的的个体差异 。Christopher 等人（2012）对 8~16 岁儿童的中央执行功能与字词阅读和阅读理解的关系研究发现，在控制了命名速度、一般认知能力后，抑制能力对字词阅读和阅读理解表现没有影响。他们认为，抑制能力对阅读理解没有产生影响是因为在阅读中一般认知能力完全包括了抑制能力，抑制能力在阅读理解过程中并不具有特异性。这也表明，不同的阅读内容涉及到的认知能力也不同，抑制控制能力对解码和语言理解的影响可能还会受到其它因素的影响，比如说，一般认知能力、词汇量等方面（Christopher et al., 2012）。

在刷新方面，刷新对解码和语言理解均存在一定的影响。阅读的系列加工和理解文本信息涉及到连续操作和工作记忆的不断刷新（Palladino, Cornoldi, De Beni, & Pazzaglia, 2001）。刷新在单个不相关字词的阅读中依然会存在一定的作用，主要在于大量存储在长时记忆中的关于字词的语音信息太广泛，对于单个字词的解码依然需要不断地刷新记忆

中的信息，以便更有效地形成对字词的识别（Palladino et al., 2001）。解码虽然是阅读的首要过程，但是一旦阅读者能够通过解码形成对文本内容词义的激活，就能够根据语法结构和句法加工等过程形成对言语信息的理解（Stuart, 2006）。也就是说，解码是阅读理解开始的基本过程，而语言理解会涉及到更多认知资源的参与和更复杂的认知过程（Butterfuss & Kendeou, 2018）。在儿童的阅读学习过程中，刷新能力对于阅读的理解过程非常关键，因为阅读者必须在工作记忆中保留相关的信息，排除不相关信息，才能成功地构建一个连贯的文本表征（Butterfuss & Kendeou, 2018）。因此，需要更多认知资源参与的刷新能力对语言理解具有重要的影响。

在转换方面，本研究发现，转换能力只对语言理解具有预测作用，对解码没有明显的影响。这可能是因为，解码是阅读理解的基本过程，更多的是一种自下而上的加工过程，而语言理解是阅读理解过程中更高水平的加工，还需要协调自下而上（词汇）和自上而下的（语用技能）的加工，这一过程对信息的使用就需要注意转换技能的参与（Butterfuss & Kendeou, 2018）。相关研究也证实，转换能力会影响语言理解和更高水平的语言理解技能的发展（Kendeou et al., 2016）。相关研究也发现，注意转换不仅能够直接预测阅读理解的表现，还可以通过影响语言理解能力间接地影响到阅读理解的表现（Kieffer et al., 2013）。这就表明，语言理解机制在转换和阅读关系中起到了重要的调节作用。总体而言，转换能力和语言理解之间的相关性更多地来源于语言理解过程需要协调多方面的知识建构，需要不断地转换知识信息。

4.2 语音记忆和中央执行功能对不同年级阶段儿童的解码和语言理解的影响

本研究对不同年级阶段儿童的语音记忆和中央执行功能在解码和语言理解中的作用进行了横向比较，结果发现，语音记忆和中央执行功能在解码和语言理解中的作用会随着年级的增长发生变化。从阅读发展的角度来看，阅读是一种从单个字词的解码到自动化的、有效的字词识别的过程，也是从“学习阅读”（learning to read）到“从阅读中学习”（reading to learn）的一个不断发展的过程（Yovanoff, Duesbery, Alonzo, & Tindal, 2005）。Seigneuric 和 Ehrlich（2005）对工作记忆在儿童阅读理解中的作用进行了纵向考察，结果发现，工作记忆在阅读理解中的作用随着年级的增长存在一种发展性的变化。

本研究发现，语音记忆对解码的预测作用随着年级的增长逐渐消失。早期儿童的字词识别更多地依赖于语音记忆形成字形-字音匹配的表征，随着年级的增长，阅读的其它技能在这一过程中可能起到了更为重要的作用，比如说，正字法规则、语义分析等（Harm & Seidenberg, 2004）。对于高年级阶段的儿童而言，阅读的解码技能逐渐发展成熟，阅读的功能有所改变，对于高年级阶段儿童的阅读主要考察他们在阅读过程中更高水平的理解能力（Kendeou et al., 2016）。也有研究证明，随着儿童阅读能力的不断增长，字词识别能力逐渐变为自动化加工，语音记忆在阅读中的作用会有所减小，而工作记忆容量对于阅读理解的发展过程具有重要作用（Seigneuric & Ehrlich, 2005）。

不同年级阶段，刷新对儿童的解码保持着稳定的预测作用。刷新对阅读中解码的影响可能是通过调节工作记忆中信息激活的潜在机制实现的（Palladino et al., 2001）。对于低年

级儿童，在解码学习阶段，需要不断刷新记忆的信息，建立更丰富的心理词典，而对于高年级阶段的儿童，虽然解码逐渐自动化，但是存储的信息更加广泛，对于有效信息的选择和保持仍然依赖于刷新的参与。在语言理解方面，随着年级的增长，刷新对语言理解失去了预测作用。这可能是因为，相比解码，语言理解是一个更为复杂的过程，涉及到句子加工、语法加工、推理、理解监测等更加复杂的能力（Sesma et al., 2009），单一的刷新能力可能不足以支持语言理解的所有过程。词汇量、背景知识、推理能力和工作记忆容量可能在语言理解过程中起到了更为重要的作用（Kendeou et al., 2016）。相关研究也证实了这一观点，Van Dyke，Johns 和 Kukona（2014）认为，工作记忆与理解能力之间的联系是因为工作记忆与许多其他阅读技能之间存在共线性关系，尤其是智力。本研究也发现，在不同年级阶段，一般认知能力对语言理解保持着稳定的预测作用。

随着年级的增长，转换能力对语言理解失去了的预测作用。在儿童的发展过程中，转换能力对于语言理解的发展、加工策略的使用、规则的转换等技能依然存在一定的影响。然而，随着年级的增长，儿童解码和语言理解发展得更加成熟，对一般知识的运用也会变得更加灵活，相比转换能力，一般知识的储备、推理能力可能在理解过程中会代替转换能力发挥着更为重要的作用。相关研究也证实，工作记忆和阅读理解的关系会受到阅读其他方面技能掌握的影响，比如说语法技能、语用加工技能、理解监测能力等也是阅读理解的重要组成部分（Kendeou et al., 2016）。这在一定程度上也表明，工作记忆和阅读的关系本身就经历着一种相互影响、相互作用的发展模式（Peng et al., 2017）。

本研究结果对以往工作记忆和阅读理解关系的研究进行了验证和补充，结果表明，不同工作记忆任务在阅读的不同方面起到了不同的作用。语音记忆对儿童早期解码具有重要作用，中央执行功能不同成分对解码和语言理解的影响不同。这也表明，儿童在不同工作记忆任务中的表现可能只预测阅读过程的某些特定成分（Potocki et al., 2017）。此外，语音记忆和中央执行功能与阅读的解码和语言理解之间的关系在不同年级阶段具有不同的表现。这也表明，工作记忆和阅读理解的关系经历着一种动态发展的变化（Peng et al., 2017; Seigneuric & Ehrlich, 2005）。根据 Gough 和 Tunmer（1986）提出的简单阅读观，解码主要涉及到单个字词的识别能力，在早期儿童阅读的学习中非常关键，并且这一能力的发展与语音意识、快速命名能力紧密相连。而语言理解涉及到更高水平的阅读理解能力，语言理解能力可能与中央执行功能和一般认知能力的发展存在紧密联系（Sesma et al., 2009）。

基于本研究的结果，早期儿童的阅读教学应结合儿童的认知发展特点来展开。首先，对于低年级儿童的阅读教学，应当注重儿童字形-字音之间一致性能力的培养，通过语音记忆能力的培养，促进儿童解码能力和语音意识的发展。其次，对于高年级儿童阅读的教学，应结合语言理解和认知发展关系的特点，开发更为有效的课程教学和评估工具。比如说，对语言理解能力较差儿童的教学，可以结合认知训练和语言理解技能开发更为有效的干预方案。最后，本研究还发现，在各年级阶段，一般认知能力对语言理解保持着稳定的预测作用。也就是说，一般认知能力的培养对于儿童阅读的发展同样重要。在培养儿童阅读相关技能的同时，要注重一般认知能力的培养，促进儿童阅读能力和一般认知能力的相互补充、相互促进。

4.3 研究不足与展望

本研究综合考虑了以往对工作记忆与阅读理解关系的研究观点和研究范式，对不同年级儿童的语音记忆和中央执行功能与阅读理解的解码和语言理解的关系进行了探讨，有助于研究者进一步了解不同年级阶段工作记忆与阅读成分深层次关系。当然，本研究依然存在一些不足之处。首先，本研究的研究对象只涉及到了一般群体的儿童被试，缺少对特殊群体（比如说解码困难儿童、特殊语言缺陷儿童）的研究。相关研究表明，不同类型阅读困难儿童在工作记忆不同子成分中可能存在不同的缺陷（Ramus et al., 2013）。因此，今后的研究还需要继续探究解码困难儿童和特殊语言缺陷儿童在工作记忆不同子成分中的缺陷是否存在差异，进一步明确工作记忆不同子成分和阅读理解相关技能（解码和语言理解）的关系；其次，本研究采用的横向比较的方法，并没有对语音记忆和中央执行功能与解码和语言理解之间的关系在儿童发展中的变化进行纵向追踪调查。以往对阅读理解和语音记忆、工作记忆的纵向研究也发现，单独的语音记忆缺陷不足以解释儿童长期的阅读理解困难的表现，而工作记忆可能存在持续的影响（Gathercole et al., 2005）。因此，结合纵向的研究方法更有助于系统地了解工作记忆与阅读理解不同成分之间关系的动态发展规律；最后，工作记忆训练是否能够提升儿童解码和语言理解能力将成为今后的研究重点。虽然已有研究发现，工作记忆训练不仅能够提高儿童的工作记忆能力，同时对儿童的阅读能力也具有一定的促进作用（Carretti, Borella, Elosúa, Gómez-Veiga, & García-Madruga, 2017; Loosli, Buschkuehl, Perrig, & Jaeggi, 2012）。但是，较少有研究关注工作记忆训练对阅读理解不同成分的影响，今后的研究可以进一步考察工作记忆训练在儿童阅读理解的解码和语言理解层面中的作用，并且能够关注迁移和保持效果。这将有助于理论研究和实践应用相结合，进一步促进儿童阅读能力和认知能力的发展。

5 结论

本文通过对三~六年级儿童的解码、语言理解、语音记忆和中央执行功能关系的考察，发现语音记忆对儿童解码具有重要影响；刷新能力和转换能力对语言理解具有重要的影响，但是随着年级的增长，语音记忆对解码的影响逐渐减弱，转换能力对语言理解的影响逐渐减弱，而刷新能力和一般认知能力可能是阅读发展过程中较为稳定的预测因素。该发现在一定程度上揭示了语音记忆、中央执行功能与儿童的解码和语言理解之间可能存在着不同的关系，并且这种关系会随着年级的增长会发生变化。

参考文献

Arrington, C. N., Kulesz, P. A., Francis, D. J., Fletcher, J. M., & Barnes, M. A. (2014). The contribution of attentional control and working memory to reading comprehension and decoding. *Scientific Studies of Reading, 18*(5), 325–346.

Baddeley, A. (1992). Working memory and conscious awareness. *In Theories of Memory* (pp. 11–20). Lawrence Erlbaum Associates.

Baddeley, A., Gathercole, S., & Papagno, C. (1998). The phonological loop as a language learning device. *Psychological Review, 105*(1), 158–173.

Baddeley, A. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience, 4*(10), 829–839.

Borella, E., Carretti, B., & Pelegrina, S. (2010). The specific role of inhibition in reading comprehension in good and poor comprehenders. *Journal of Learning Disabilities, 43*(6), 541–552.

Butterfuss, R., & Kendeou, P. (2018). The role of executive functions in reading comprehension. *Educational Psychology Review, 30*(3), 801–826.

Carretti, B., Borella, E., Elosúa, M. R., Gómez-Veiga, I., & García-Madruga, J. A. (2017). Improvements in Reading Comprehension Performance After a Training Program Focusing on Executive Processes of Working Memory. *Journal of Cognitive Enhancement, 1*(3), 268–279.

Carretti, B., Cornoldi, C., De Beni, R., & Romanò, M. (2005). Updating in working memory: A comparison of good and poor comprehenders. *Journal of Experimental Child Psychology, 91*(1), 45–66.

Catts, H. W., Adlof, S. M., Hogan, T., & Weismer, S. E. (2005). Are specific language impairment and dyslexia distinct disorders?. *Journal of Speech Language & Hearing Research, 48*(6), 1378–1396.

Christopher, M. E., Miyake, A., Keenan, J. M., Pennington, B., Defries, J. C., Wadsworth, S. J., . . . Filosofiska fakulteten. (2012). Predicting word reading and comprehension with executive function and speed measures across development: A latent variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General, 141*(3), 470–488.

Cutting, L. E., Materek, A., Carolyn A. S. Cole, Levine, T. M., & Mahone, E. M. (2009). Effects of fluency, oral language, and executive function on reading comprehension performance. *Annals of Dyslexia, 59*(1), 34–54.

Dale, E., & Chall, J. S. (1948). A formula for predicting readability: Instructions. *Educational Research Bulletin, 27*(2), 37–54.

Eason, S. H., Goldberg, L. F., Young, K. M., Geist, M. C., & Cutting, L. E. (2012). Reader-text interactions: How differential text and question types influence cognitive skills needed for reading comprehension. *Journal of Educational Psychology, 104*(3), 515–528.

Fortier, V., & Simard, D. (2017). Exploring the contribution of phonological memory to meta-syntactic abilities in bilingual children. *Language Awareness, 26*(2), 78–95.

García-Madruga, J. A., Vila, J. O., Gómez-Veiga, I., Duque, G., & Elosúa, M. R. (2014). Executive processes, reading comprehension and academic achievement in 3th grade primary students. *Learning and Individual Differences, 35*(5), 41–48.

Gathercole, S. E., Tiffany, C., Briscoe, J., & Thorn, A. (2005). Developmental consequences of poor phonological short-term memory function in childhood: a longitudinal study. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 46*(6), 598–611.

Gough, P. B., & Tunmer, W. E. (1986). Decoding, reading, and reading disability. *Remedial and Special Education, 7*(1), 6–10.

Gupta, P., & Tisdale, J. (2009). Does phonological short-term memory causally determine vocabulary learning? toward a computational resolution of the debate. *Journal of Memory and Language, 61*(4), 481–502.

Harm, M. W., & Seidenberg, M. S. (2004). Computing the meanings of words in reading: Cooperative division of labor between visual and phonological processes. *Psychological Review, 111*(3), 662–720.

Ho, S. H. , & Bryant, P. . (1997). Phonological skills are important in learning to read Chinese. *Developmental Psychology, 33*(6), 946–951.

Jared, D., Ashby, J., Agauas, S. J., & Levy, B. A. (2016). Phonological activation of word meanings in grade 5 readers. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition, 42*(4), 524–541.

Kendeou, P., McMaster, K. L., & Christ, T. J. (2016). Reading comprehension: Core components and processes. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences, 3*(1), 62–69.

Kieffer, M. J., Vukovic, R. K., & Berry, D. (2013). Roles of attention shifting and inhibitory control in fourth-grade reading comprehension. *Reading Research Quarterly, 48*(4), 333–348.

Leong, C. K., Tse, S. K., Loh, K. Y., & Hau, K. T. (2008). Text comprehension in chinese children: Relative contribution of verbal working memory, pseudoword reading, rapid automatized naming, and onset-rime phonological segmentation. *Journal of Educational Psychology, 100*(1), 135–149.

Loosli, S. V., Buschkuehl, M., Perrig, W. J., & Jaeggi, S. M. (2012). Working memory training improves reading processes in typically developing children. *Child Neuropsychology*, *18*(1), 62–78.

McDougall, S., Hulme, C., Ellis, A., & Monk, A. (1994). Learning to read: The role of short-term memory and phonological skills. *Journal of Experimental Child Psychology, 58*(1), 112–133.

Meixner, J. M., Warner, G. J., Lensing, N., Schiefele, U., & Elsner, B. (2018). The relation between executive functions and reading comprehension in primary-school students: A cross-lagged-panel analysis. *Early Childhood Research Quarterly*, *46*, 62–74.

Miyake, A. , Friedman, N. P. , Emerson, M. J. , Witzki, A. H. , Howerter, A. , & Wager, T. D. . (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: a latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, *41*(1), 49–100.

Montgomery, J. W., Magimairaj, B. M., & Finney, M. C. (2010). Working memory and specific language impairment: An update on the relation and perspectives on assessment and treatment. *American Journal of Speech-Language Pathology, 19*(1), 78–94.

Oakhill, J. V., Cain, K., & Bryant, P. E. (2003). The dissociation of word reading and text comprehension: Evidence from component skills. *Language and Cognitive Processes, 18*(4), 443–468.

O'Brien, I., Segalowitz, N., Freed, B., & Collentine, J. (2007). Phonological memory predicts second language oral fluency gains in adults. *Studies in Second Language Acquisition, 29*(4), 557–581.

Palladino, P., Cornoldi, C., De Beni, R., & Pazzaglia, F. (2001). Working memory and updating processes in reading comprehension. *Memory & Cognition, 29*(2), 344–354.

Peng, P., Barnes, M., Wang, C., Wang, W., Li, S., Swanson, H., . . . Tao, S. (2017). A meta-analysis on the relation between reading and working memory. *Psychological Bulletin, 144*(1), 48–76.

Perfetti, C., & Stafura, J. (2014). Word knowledge in a theory of reading comprehension. *Scientific Studies of Reading, 18*(1), 22–37.

Potocki, A., Sanchez, M., Ecalle, J., & Magnan, A. (2017). Linguistic and cognitive profiles of 8- to 15-year-old children with specific reading comprehension difficulties: The role of executive functions. *Journal of Learning Disabilities, 50*(2), 128–142.

Ramus, F., Marshall, C. R., Rosen, S., & Van Der Lely, Heather K. J. (2013). Phonological deficits in specific language impairment and developmental dyslexia: Towards a multidimensional model. *Brain, 136*(2), 630–645.

Savage, R., Lavers, N., & Pillay, V. (2007). Working memory and reading difficulties: what we know and what we don't know about the relationship. *Educational Psychology Review, 19*(2), 185–221.

Scarborough, H. (2001). Connecting early language and literacy to later reading (dis)abilities: Evidence, theory, and practice. In S. B. Neuman and D. K. Dickinson (Eds)., *Handbook of Early Literacy Research* (pp. 97–110). New

York: Guilford Press.
Seigneuric, A., & Ehrlich, M. (2005). Contribution of working memory capacity to children's reading comprehension: A longitudinal investigation. *Reading and Writing, 18*(7), 617–656.
Sesma, H. W., Mahone, E. M., Levine, T., Eason, S. H., & Cutting, L. E. (2009). The contribution of executive skills to reading comprehension. *Child Neuropsychology*, *15*(3), 232–246.
Song, S., Su, M., Kang, C., Liu, H., Zhang, Y., McBride-Chang, C., . . . Shu, H. (2015). Tracing children's vocabulary development from preschool through the school-age years: An 8-year longitudinal study. *Developmental Science, 18*(1), 119–131.
Stuart, M. (2006). Learning to read: Developing processes for recognizing, understanding and pronouncing written words. *London Review of Education, 4*(1), 19–29.
Swanson, H. L. (2000). Are working memory deficits in readers with learning disabilities hard to change?. *Journal of Learning Disabilities, 33*(6), 551–566.
Swanson, H. L., Zheng, X., & Jerman, O. (2009). Working memory, short-term memory, and reading disabilities: A selective meta-analysis of the literature. *Journal of Learning Disabilities, 42*(3), 260–287.
Tunmer, W. E., & Chapman, J. W. (2012). The simple view of reading redux: Vocabulary knowledge and the independent components hypothesis. *Journal of Learning Disabilities, 45*(5), 453–466.
Van Dyke, J. A., Johns, C. L., & Kukona, A. (2014). Low working memory capacity is only spuriously related to poor reading comprehension. *Cognition*, *131*(3), 373–403.
Wang, X. L., Chen, G. P., Ma, J. Z., Kong, X. Q., Sun, Z. F. (2013). Development of Working Memory from 6 to 9 Years of Age. *Journal of Psychological Science, 36*(1), 92–97.
[王晓丽, 陈国鹏, 马娟子, 孙秀庆, 孙志凤. (2013). 6-9 岁儿童工作记忆的发展研究. *心理科学, 36*(1), 92–97.]
Xue, J., Shu, H., Li, H., Li, W., & Tian, X. (2013). The stability of literacy-related cognitive contributions to chinese character naming and reading fluency. *Journal of Psycholinguistic Research, 42*(5), 433–450.
Yovanoff, P., Duesbery, L., Alonzo, J., & Tindal, G. (2005). Grade-Level invariance of a theoretical causal structure predicting reading comprehension with vocabulary and oral reading fluency. *Educational Measurement: Issues and Practice, 24*(3), 4–12.
Zhang, H-C., & Wang, X-P. (1989), Standardization research on Raven’s standard progressive matrices in China. *Acta Psychologica Sinica, 21,* 113–121.
[张厚粲, 王晓平. (1989). 瑞文标准推理测验在我国的修订. *心理学报, 21,* 113–121.]
Zhang, D. (2017). Multidimensionality of morphological awareness and text comprehension among young Chinese readers in a multilingual context. *Learning & Individual Differences, 56*, 13–23.
Zhao, X., Chen, L., & Maes, J. H. R. (2018). Training and transfer effects of response inhibition training in children and adults. *Developmental Science, 21*(1), e12511-n/a.

Effects of Phonological Memory and Central Executive Function on Decoding, Language Comprehension of Children in Different Grades

ZHAO Xin[1,2]; LI Hongli[2]; Jin Ge[3]; LI Shifeng[2]; ZHOU Aibao[1,2]

（[1] *Key Laboratory of Behavioral and Mental Health of Gansu province*, *Northwest Normal University*, *Lanzhou 730070*, *China*)（[2] *School of Psychology*, *Northwest Normal University*, *Lanzhou 730070*, *China*)

（[3] *College of Education, Lanzhou City University, Lanzhou,730070*, *China*）

Abstract

Reading comprehension is one of the most complex behaviors that we engage in on a regular basis. Decoding and language comprehension are two important components of reading comprehension. While up to now, little research has been devoted to directly explore the effects of phonological memory and central executive function on diverse reading comprehension components (decoding and language comprehension). In addition, the primary school stage is a critical period of development of children's reading ability and cognitive ability. However, few research has focused on the developmental changes in the relationship of phonological memory, central executive function and reading comprehension among children in different grades. Therefore, the purpose of this study is to examine the contribution of phonological memory and central executive function on decoding and language comprehension of children in different grade levels.

Two hundred and fifty-six children completed Chinese Characters Reading, Chinese Word Reading, and Pseudo-Word Reading to investigate decoding ability, as well as a Listening Comprehension Test to exam language comprehension. Additionally, we used Digit Span and Non-word Span to measure children's phonological memory, and GO/NOGO task, Stroop task, Digit updating task and Digit shifting task to investigate children's central executive function. Correlation analysis and structural equation models (SEM) were used to investigate the effects of phonological memory and central executive function on decoding, language comprehension of children in different grades.

Results indicated that, the effect of phonological memory and updating on decoding were significant. Also, the effect of updating and shifting on language comprehension were significant. On further analysis, we divided the four grades into two levels based on the reading stage theory, that third grade and fourth grade as one level, fifth grade and sixth grade as another level. In the third grade and fourth grade level, phonological memory and updating accuracy contributed to decoding. Moreover, updating accuracy and shifting cost predicted language comprehension. In the fifth grade and sixth grade level, only the effect of updating on decoding was significant.The results indicated that, the prediction of phonological memory on decoding disappeared as children

progress through school. More importantly, we found that updating had a relatively stable contribution to decoding across grade levels.

It revealed that different functions of working memory played different roles in reading, which seem that not all cognitive abilities are equally important in the reading process. Furthermore, phonological memory and central executive function produced different predictive effects in decoding and language comprehension as the grades grew.

Key words phonological memory; central executive function; primary school children; decoding; language comprehension